



SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201953653, 5 September 2019

Pencipta

Nama : **Dana Marsetiya Utama**
Alamat : Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang Telp. (0341) 464318-31,
Malang, Jawa Timur, 65144
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dana Marsetiya Utama**
Alamat : Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang Telp. (0341) 464318-31,
Malang, Jawa Timur, 65144
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Karya Ilmiah**
Judul Ciptaan : **Formula Sustainable Economic Production Quantity Single
Item Produk**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 5 September 2019, di Malang

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000152873

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Formula Sustainable Economic Production Quantity Single Item Produk

Oleh:

Dana Marsetiya Utama

Daftar Isi

COVER	1
Daftar Isi	2
Formula Sustainable Economic Production Quantity Single Item Produk	3
Abstract	3
Pendahuluan	3
Metode Penelitian	4
Asumsi dan notasi	4
Model dasar Sustainable EPQ	5
Prosedur percobaan numerik model	6
Hasil dan Pembahasan	6
Analysis Numerik	6
Simpulan	9
Referensi	9

Formula Sustainable Economic Production Quantity Single Item Produk

Abstract

Baru-baru ini, masalah limbah, energi, dan emisi karbon dalam industri telah menjadi fokus banyak penelitian. Salah satu upaya yang berhasil dilakukan adalah mengelola Sustainable Economic Production Quantity (SEPQ). Namun, beberapa SEPQ memiliki asumsi seperti (1) biaya limbah dan energi diabaikan, dan (2) Emisi transportasi dihindari. Dalam tulisan ini, penelitian ini mengembangkan model SEPQ dengan mempertimbangkan biaya limbah, energi, dan emisi. percobaan numerik dilakukan untuk menguji model. Berdasarkan percobaan numerik, model yang diusulkan berguna untuk menyelesaikan masalah SEPQ dengan biaya limbah, energi, dan emisi.

Kata Kunci. SEPQ, Inventory, Enegy, Emisi

Pendahuluan

Inventory memiliki peran penting dalam rantai pasokan [1]. Selain itu, *inventory* merupakan kunci utama perusahaan untuk menunjang kelancaran produksi [2-4]. *Inventory* juga memberikan dampak pada biaya. Beberapa pendekatan telah diusulkan oleh pakar untuk menyelesaikan *inventory problem*. Beberapa pendekatan tersebut diantaranya Economic Order Quantity (EOQ) [5], dynamic programming [6], dan algoritma heuristic[7]. Model EOQ yang dikembangkan oleh Harris [5] disebut sebagai basic *inventory model* yang menginspirasi para peneliti. Model ini lebih menarik para peneliti dari pada model lain. Metode lain membutuhkan upaya yang lebih kompleks dalam penyelesaian masalah. Pada model *eoq* dasar, beberapa peneliti telah mengembangkan model tersebut dengan mempertimbangkan *transportation cost*. Model-model tersebut focus pada aspek ekonomi.

Banyak upaya telah dilakukan oleh peneliti untuk mengembangkan model EOQ. Beberapa peneliti mempertimbangkan biaya transportasi dalam EOQ. Baumol and Vinod [8] adalah salah satu peneliti yang mengembangkan model EOQ dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Tujuan model mereka adalah meminimasi total transportasi, pemesanan, dan biaya pengangkutan. Model tersebut kemudian dikembangkan dengan menambahkan biaya stock out oleh Buffa and Reynolds [9] dan diskon harga oleh Burwell, et al. [10]. Baru-baru ini, masalah persediaan dengan pertimbangan masalah lingkungan banyak menjadi perhatian peneliti. Masalah ini sering disebut oleh para peneliti sebagai masalah *sustainable inventory* [11].

Para pakar menganggap lingkungan menjadi masalah di perusahaan dan dunia. Melalui peraturan pemerintah, perusahaan dituntut memperhatikan aspek lingkungan. Salah satu aspek lingkungan yang diperhatikan adalah karbon emisi dan limbah. Di negara maju, pemerintah memberikan kebijakan pajak karbon emisi pada perusahaan. Kebijakan ini diberikan agar perusahaan peduli masalah lingkungan [12-14]. Karbon emisi pada masalah persediaan ditimbulkan dari beberapa aktivitas. Salah satu aktivitas yang menimbulkan karbon emisi diantaranya *transportation*, penyimpanan, dan gudang.

Melalui manajemen inventory yang tepat, perusahaan dapat mengendalikan aspek karbon emisi dan ekonomi [15-17].

Penelitian masalah sustainable EOQ telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Umumnya, kinerja lingkungan yang di pertimbangkan adalah karbon emisi. Beberapa peneliti telah menginvestigasi masalah ini diantaranya Chen, et al. [18], Bouchery, et al. [19], Jaber, et al. [20], dan Taleizadeh, et al. [21]. umumnya, mereka mempertimbangkan masalah biaya konsekwensi karbon emisi dari aspek frekwensi pesan dan jumlah penyimpanan. Selain itu, beberapa penelitian masalah SEOQ dengan pertimbangan tranportation cost dan karbon emisi telah dilakukan oleh peneliti. Wang and Ye [22] dan Battini, et al. [23] mengembangkan model SEOQ dengan mempertimbangkan internal da external transportation. Lebih lanjut, Zadjafar and Gholamian [24] mengusulkan model SEOQ dengan mempertimbangkan transportation polution dan ergonomic polution.

Beberapa penelitian mengenai masalah SEOQ telah banyak dilakukan. Namun, penelitian tersebut masih menggunakan beberapa asumsi. Beberapa asumsi tersebut diantaranya tidak memperhatikan dampak lingkungan. Selain itu, umumnya pada masalah SEOQ memiliki asumsi produk data sekaligus. Pada kasus kedatangan material bertahap, para pakar menyebutkan masalah ini Economic production Quantity (EPQ) Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Sustainable Economic production Quantity (SEPQ). Penelitian ini juga mengusulkan prosedur untuk meminimalkan total biaya persediaan.

Metode Penelitian

Asumsi dan notasi

Model usulan memiliki beberapa asumsi yang digunakan. Beberapa asumsi tersebut diantaranya (1) permintaan tiap periode bersifat konstan dan diketahui dengan pasti, sehingga permintaan dalam 1 tahun adalah tetap, (2) *biaya-biaya* adalah tetap, (3) *jarak tempuh, rata-rata kecepatan*, Proporsi limbah adalah tetap (4) biaya yang dimiliki adalah unlimited, dan (6) model digunakan untuk menyelesaikan single produk. Dalam paper ini, model EOQ usulan dikembangkan dengan mempertimbangkan isu lingkungan yaitu emisi karbon.. penelitian ini menggunakan notasi seperti berikut ini.

D	: Jumlah permintaan dalam suatu periode (unit)
P	: production cost per unit (Rp)
H	: Holding Cost /unit, /periode (Rp)
p	: Tingkat produksi (unit)
d	: <i>laju (tingkat) permintaan (Unit)</i>
C	: Setup cost tiap kali produksi (Rp)
Q	: Kuantitas persediaan (unit)
a	: Biaya Tetap per Perjalanan (Rp)
b	: Biaya fuel per jarak yang ditempuh (Rp/km)
di	: Jarak tempuh dari Gudang ke Produksi (km)
β	: Biaya Sosial dari emisi kendaraan (Rp/jam)
v	: Kecepatan rata-rata (km/jam)
γ_0	: Biaya sosial dari pembuangan limbah (Rp)
A	: Energy yang dikeluarkan per unit(watt)

∂	: Biaya konsumsi energi per unit (Rp/watt)
G	: Biaya Gudang/m ³ (Rp)
O	: Pemakaian ruangan per unit
ρ	: Biaya Emisi karbon yang dihasilkan dari gudang penyimpanan (Rp/m ³)
λ	: Biaya untuk membuang limbah ke lingkungan (Rp/unit)

Model dasar Sustainable EPQ

Beberapa komponen biaya pada model SEPQ diantaranya biaya pembelian, biaya transportasi, biaya emisi, dan biaya limbah. formula untuk mencari biaya pembelian per siklus dapat dilihat pada persamaan 1.

Biaya Simpan (1) :

$$C(h) = \frac{Q}{2} H \left(1 - \frac{d}{p} \right) \quad (1)$$

Biaya Pesan (2) :

$$C(o) = \frac{D}{Q} C \quad (2)$$

Biaya Produksi (3) :

$$C(p) = D * P \quad (3)$$

Biaya Emisi dari Internal Transportasi (4) :

$$C_e(Q) = 2\beta \frac{d_i}{v} * \frac{D}{Q} \quad (4)$$

Biaya Konsumsi Energi dari Internal Transportasi (5) :

$$C(t) = 2 * (a + b d_i) * \frac{D}{Q} \quad (5)$$

Biaya Limbah yang Dihasilkan (6) :

$$C_w(Q) = \gamma_0 * \frac{D}{Q} + \lambda * D \quad (6)$$

Biaya Konsumsi Energi Produksi (7) :

$$C(en) = D * \alpha * \partial \quad (7)$$

Biaya Gudang (8) :

$$C(g) = Q.g.O \quad (8)$$

Seluruh komponen biaya dari persamaan (1) sampai dengan persamaan (8) dijumlahkan sehingga memperoleh Persamaan (9) Total Biaya berikut:

$$TC = \left(\frac{Q}{2}\right)H \cdot \left(1 - \frac{d}{p}\right) + \frac{D}{Q} \cdot C + D \cdot P + 2\beta \cdot \frac{di}{v} \cdot \frac{D}{Q} + (2 \cdot (a + bdi) \cdot \frac{D}{Q} + (\gamma_0 \cdot \frac{D}{Q} + \lambda \cdot D) + D \cdot \alpha \cdot \partial + Q \cdot g \cdot o \quad (9)$$

Lebih lanjut, untuk memperoleh Q optimal, persamaan (9) diturunkan terhadap Q. Formula Q optimal disajikan pada persamaan (10)

$$Q = \frac{\sqrt{2} \sqrt{D} \sqrt{p} \sqrt{2bdi + C + 2a + \gamma_0} v + 2\beta di}{\sqrt{v} \sqrt{(-p + d)H - 2gop}} \quad (10)$$

Prosedur percobaan numerik model

Sebagai Implementasi model SEPQ usulan, penelitian ini melakukan percobaan numerik untuk menyelesaikan masalah dan analisa sensitivitas. Komponen Biaya ditunjukkan pada tabel 1. Percobaan numerik dilakukan untuk mengetahui pengaruh biaya terhadap Q dan Total biaya. Pada percobaan ini, penelitian menggunakan 5 variasi biaya. Selanjutnya, penelitian ini melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh perubahan kuantitas pesan (Q) terhadap biaya. Berdasarkan data pada tabel 1, nilai Q diuji terhadap komponen biaya. Nilai Q diujicoba dari nilai 1-1000.

Tabel 1. Komponen Biaya (dalam ribuan)

Variabel	Nilai	Satuan	Variabel	Nilai	Satuan
D	365	unit	v	20	km/jam
P	3	Rp	γ_0	7	Rp
H	1	Rp	A	4	watt
p	2	unit	∂	4	Rp/watt
d	1	Unit	G	6	Rp
C	10	Rp	O	1	
a	5	Rp	ρ	2	Rp/m ³
b	1	Rp/km	λ	3	Rp/unit
di	10	km	β	6	Rp/jam

Hasil dan Pembahasan Analysis Numerik

Tabel 2 merupakan rekapitulasi hasil percobaan untuk model SEPQ. Dari Hasil Percobaan dapat disimpulkan bahwa komponen biaya C semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya H semakin tinggi maka jumlah Q semakin rendah dan jumlah TC semakin tinggi. komponen biaya C semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya P semakin tinggi maka jumlah Q tetap atau tidak berubah dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya β semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya v semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC semakin rendah. komponen biaya a

semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya b semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya γ_0 semakin tinggi maka jumlah Q dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya λ semakin tinggi maka jumlah Q tetap atau tidak berubah dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya α semakin tinggi maka jumlah Q tetap atau tidak berubah dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya θ semakin tinggi maka jumlah Q tetap atau tidak berubah dan jumlah TC juga semakin tinggi. komponen biaya g semakin tinggi maka jumlah Q semakin rendah dan jumlah TC semakin tinggi

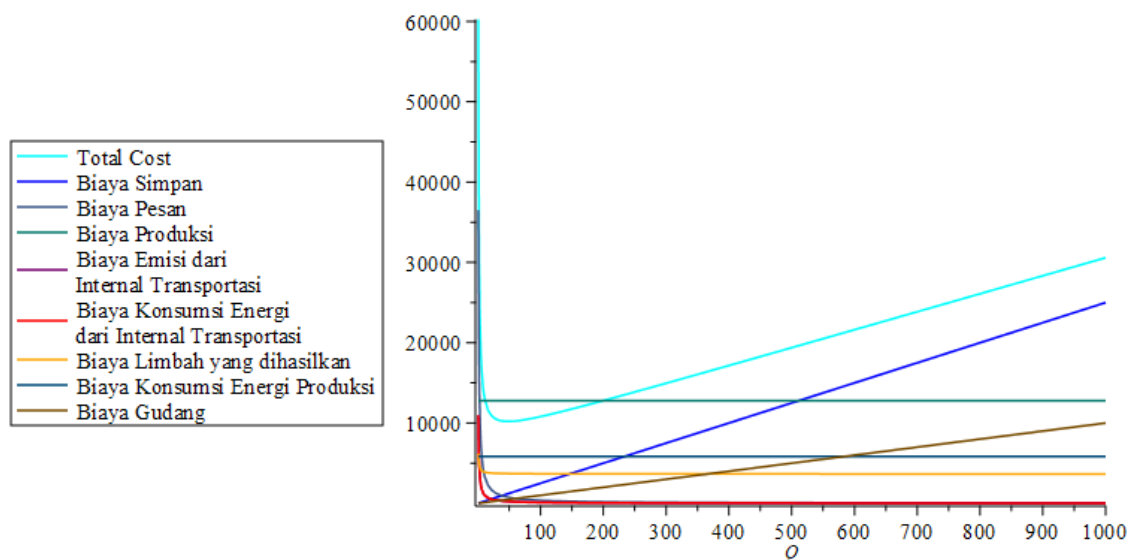
Tabel 2 rekapitulasi hasil percobaan model SEPQ

Percobaan	Komponen Biaya		Q	TC
1	C =	10	55.632	8725.431522
2		15	58.200	8757.495705
3		20	60.656	8788.205117
4		25	63.016	8817.718224
5		30	65.292	8846.164812
1	H =	1	55.632	8725.431522
2		2	54.555	8739.203779
3		3	53.533	8752.713637
4		4	52.567	8765.975544
5		5	51.656	8779.002669
1	P =	3	55.632	8725.431522
2		6	55.632	9820.431522
3		9	55.632	10915.43152
4		12	55.632	12010.43152
5		15	55.632	13105.43152
1	β =	6	55.632	8725.431522
2		7	56.156	8731.961538
3		8	56.672	8738.431366
4		9	57.184	8744.842641
5		10	57.696	8751.196922
1	v =	20	55.632	8725.431522
2		30	54.574	8712.183993
3		40	54.036	8705.462805
4		50	53.710	8701.397796
5		60	53.495	8698.674061
1	a =	1	51.264	8670.800280
2		2	52.392	8684.885486
3		3	53.496	8698.674061
4		4	54.576	8712.183993
5		5	55.632	8725.431522
1	b =	1	55.632	8725.431522

2		3	73.696	8951.208446
3		5	88.128	9131.646497
4		7	100.51	9286.433446
5		9	111.53	9424.139519
1	$\gamma_0 =$	1	52.392	8684.885486
2		3	53.496	8698.674061
3		5	54.576	8712.183993
4		7	55.632	8725.431522
5		9	56.672	8738.431367
1	$\lambda =$	1	55.632	7995.431522
2		2	55.632	8360.431522
3		3	55.632	8725.431522
4		4	55.632	9090.431522
5		5	55.632	9455.431522
1	$\alpha =$	1	55.632	4345.431522
2		2	55.632	5805.431522
3		3	55.632	7265.431522
4		4	55.632	8725.431522
5		5	55.632	10185.43152
1	$\vartheta =$	1	55.632	4345.431522
2		2	55.632	5805.431522
3		3	55.632	7265.431522
4		4	55.632	8725.431522
5		5	55.632	10185.43152
1	$g =$	2	92.722	8447.258912
2		4	67.465	8603.467523
3		6	55.632	8725.431522
4		8	48.424	8828.989988
5		10	43.443	8920.586885

Gambar 2 menunjukkan pengaruh perubahan kuantitas pesan (Q) terhadap biaya. Dari hasil plot didapat bahwa semakin tinggi Quantity (Q) maka biaya simpan akan semakin tinggi karena jumlah produk yang disimpan semakin banyak. Dan bila biaya simpan semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi semakin sedikit. Semakin tinggi Quantity (Q) maka biaya pesan akan semakin rendah atau murah karena jumlah produk yang dikirim dalam jumlah banyak. Dan bila biaya pesan semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi akan semakin optimal (sesuai kebutuhan). Tinggi rendahnya biaya produksi akan tetap sesuai jumlah Quantity (Q) yang diproduksi. Semakin tinggi Quantity (Q) maka biaya emisi internal transportasi akan semakin rendah atau murah karena jumlah produk yang dikirim dalam jumlah banyak. Dan bila biaya emisi internal transportasi semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi akan semakin optimal (sesuai kebutuhan). Semakin tinggi Quantity (Q) maka biaya konsumsi

energi internal transportasi akan semakin rendah atau murah karena jumlah produk yang dikirim dalam jumlah banyak. Dan bila biaya konsumsi energi internal transportasi semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi akan semakin optimal (sesuai kebutuhan). Semakin tinggi Quantity (Q) maka biaya limbah yang dihasilkan akan semakin rendah atau murah karena jumlah produk yang dikirim dalam jumlah banyak. Dan bila biaya limbah yang dihasilkan semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi akan semakin optimal (sesuai kebutuhan). tinggi rendahnya biaya konsumsi produksi akan tetap sesuai jumlah Quantity (Q) yang diproduksi. Semakin tinggi Quantity (Q), maka biaya gudang akan semakin tinggi karena jumlah produk yang disimpan semakin banyak. Dan bila biaya gudang semakin tinggi maka jumlah Quantity (Q) yang diproduksi semakin sedikit.



Gambar 1 Grafik Hubungan TC dengan komponen biaya lain

Simpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Sustainable EPQ. Penelitian ini mengusulkan prosedur optimal untuk menyelesaikan masalah Sustainable EOQ. Hasil penelitian menunjukkan model efektif untuk menyelesaikan masalah persediaan dengan mempertimbangkan aspek lingkungan. Saran untuk peneliti selanjutnya adalah model sustainable EPQ dapat dikembangkan untuk multi item dengan beberapa batasan seperti batasan gudang dan batasan modal.

Referensi

- [1] G. Kim, K. Wu, and E. Huang, "Optimal inventory control in a multi-period newsvendor problem with non-stationary demand," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 29, pp. 139-145, 2015.
- [2] D. M. Utama, "Model Penentuan Lot Pemesanan Dengan Mempertimbangkan Unit Diskon dan Batasan Kapasitas Gudang dengan Program Dinamis," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 18, pp. 94-102, 2017.

- [3] D. M. Utama, "Model Program Dinamis Dalam Penentuan Lot Pemesanan dengan Mempertimbangkan Batasan Modal," in *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*, 2017.
- [4] D. M. Utama, "Penentuan Lot Size Pemesanan Bahan Baku Dengan Batasan Kapasitas Gudang," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 15, pp. 64-68, 2016.
- [5] F. Harris, "What quantity to make at once," *The library of factory management*, vol. 5, pp. 47-52, 1915.
- [6] H. M. Wagner and T. M. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Management science*, vol. 5, pp. 89-96, 1958.
- [7] E. A. Silver, "A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment," *Prod. Inventory Manage.*, vol. 2, pp. 64-74, 1973.
- [8] W. J. Baumol and H. D. Vinod, "An inventory theoretic model of freight transport demand," *Management science*, vol. 16, pp. 413-421, 1970.
- [9] F. P. Buffa and J. I. Reynolds, "The inventory-transport model with sensitivity analysis by indifference curves," *Transportation Journal*, pp. 83-90, 1977.
- [10] T. H. Burwell, D. S. Dave, K. E. Fitzpatrick, and M. R. Roy, "Economic lot size model for price-dependent demand under quantity and freight discounts," *International Journal of Production Economics*, vol. 48, pp. 141-155, 1997.
- [11] M. Bonney and M. Y. Jaber, "Environmentally responsible inventory models: Non-classical models for a non-classical era," *International Journal of Production Economics*, vol. 133, pp. 43-53, 2011.
- [12] J. Qin, X. Bai, and L. Xia, "Sustainable Trade credit and replenishment policies under the cap-and-trade and carbon tax regulations," *Sustainability*, vol. 7, pp. 16340-16361, 2015.
- [13] X. Ma, P. Ji, W. Ho, and C.-H. Yang, "Optimal procurement decision with a carbon tax for the manufacturing industry," *Computers & Operations Research*, vol. 89, pp. 360-368, 2018.
- [14] H. Yang, J. Luo, and H. Wang, "The role of revenue sharing and first-mover advantage in emission abatement with carbon tax and consumer environmental awareness," *International Journal of Production Economics*, vol. 193, pp. 691-702, 2017.
- [15] V. Hovelaque and L. Bironneau, "The carbon-constrained EOQ model with carbon emission dependent demand," *International Journal of Production Economics*, vol. 164, pp. 285-291, 2015.
- [16] N. Absi, S. Dauzère-Pérès, S. Kedad-Sidhoum, B. Penz, and C. Rapine, "The single-item green lot-sizing problem with fixed carbon emissions," *European Journal of Operational Research*, vol. 248, pp. 849-855, 2016.
- [17] S. Tang, W. Wang, H. Yan, and G. Hao, "Low carbon logistics: Reducing shipment frequency to cut carbon emissions," *International Journal of Production Economics*, vol. 164, pp. 339-350, 2015.
- [18] X. Chen, S. Benjaafar, and A. Elomri, "The carbon-constrained EOQ," *Operations Research Letters*, vol. 41, pp. 172-179, 2013.
- [19] Y. Bouchery, A. Ghaffari, Z. Jemai, and Y. Dallery, "Including sustainability criteria into inventory models," *European Journal of Operational Research*, vol. 222, pp. 229-240, 2012.

- [20] M. Y. Jaber, M. Bonney, and H. Jawad, "Comparison between economic order/manufacture quantity and just-in-time models from a thermodynamics point of view," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 112, pp. 503-510, 2017.
- [21] A. A. Taleizadeh, V. R. Soleymanfar, and K. Govindan, "Sustainable economic production quantity models for inventory systems with shortage," *Journal of cleaner production*, vol. 174, pp. 1011-1020, 2018.
- [22] S. Wang and B. Ye, "A comparison between just-in-time and economic order quantity models with carbon emissions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 187, pp. 662-671, 2018.
- [23] D. Battini, A. Persona, and F. Sgarbossa, "A sustainable EOQ model: theoretical formulation and applications," *International Journal of Production Economics*, vol. 149, pp. 145-153, 2014.
- [24] M. A. Zadjafar and M. R. Gholamian, "A sustainable inventory model by considering environmental ergonomics and environmental pollution, case study: Pulp and paper mills," *Journal of Cleaner Production*, vol. 199, pp. 444-458, 2018/10/20/ 2018.